

基于双金属片和金属板的无热 AWG 温度补偿研究

李朝锋¹, 冯杰²

(1. 中国电子科技集团公司 第三十四研究所, 广西 桂林 541004; 2. 中央军委装备发展部军事代表局驻桂林地区军事代表室)

摘要:为解决无热模块的小型化封装问题,针对现有的 2 种无热补偿方案的研究提出了一种新型的基于双金属片和金属板双重补偿的阵列波导光栅(AWG)温度补偿结构。理论计算结果表明:该结构能够实现波长漂移的温度补偿,并使金属板的长度缩小为位移无热补偿型的 1/4,实现模块小型化封装,通过调整双金属片的厚度、宽度以及金属板的长度来适应 AWG 芯片的波长漂移量,提高了设计的灵活性。

关键词:阵列波导光栅;温度补偿;双金属片;金属板;无热化

中图分类号:TN914 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2020)05-0038-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2020.05.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study of athermal AWG temperature compensation based on the bimetallic strip and the metal plate

LI Chaofeng¹, FENG Jie²

(1. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China; 2. Military Representative Office of Military Representative Bureau in Guilin Central Military Commission Equipment Development Department)

Abstract: According to the study of two existing athermal compensation schemes, a new athermal arrayed waveguide gratings (AWG) temperature compensation structure has been presented to solve the problem of miniaturized packaging of athermal module in this paper, which is based on the bimetallic strip and the metal plate. The theoretical calculation results show that linear wavelength shift can be completely compensated. In addition, the length of the metal plate was reduced to 1/4 of the original one, enabling the module to be miniaturized. This structure can adapt to the wavelength shift of the AWG chip by adjusting the thickness, width of the bimetal, and the length of the metal plate, which improves the design flexibility.

Key words: arrayed waveguide gratings; temperature compensation; bimetallic strip; the metal plate; athermal

0 引言

随着数据业务和网络视频业务的爆炸式增长以及物联网的快速发展,第四代通信系统的传输容量已不能满足客户的需求,因此进一步提升通信系统容量及传输性能显得日益紧迫。波分复用(WDM)技术能大大提升全光网络的通信容量。但阵列波导光栅(AWG)作为 WDM 系统中的一个关键器件,其输出波长会随环境温度变化而发生漂移,这使得进一步提高网络传输

容量受到限制。目前,广泛商用的控制波长漂移方案是利用电路控制的加热片使 AWG 温度保持在相对稳定的状态,从而使芯片对外界环境温度的变化不敏感,其输出波长也不会随环境温度变化而变化。依靠电路控制的有热型 AWG 的缺陷有:额外的能源消耗、电控单元的可靠性问题以及室内应用场景的要求。因此,对无热温度补偿方案的研究显得极为重要且紧迫^[1]。

目前,国内外关于无热 AWG 的温度补偿方案的研究已取得较大进展。文献[2]介绍了基于绝缘体上硅(SOI)材料的宽窄波导混合集成的温度不敏感 AWG,通过优化宽窄波导在相邻波导间的长度差可以降低 AWG 的温度敏感性,该方案虽然减少 AWG 的温度漂移量,但 AWG 芯片一旦制作完成,温度补偿量随之确定,这对芯片制作的工艺要求较高,相对成本也更高。

收稿日期:2019-11-07。

作者简介:李朝锋(1981—)男,本科,高级工程师,广西电子学会副理事长,主要从事光纤通信、大气激光通信、光收发模块等技术的研究。曾参与跨海光纤通信系统、HDMI 信号长距离传输、MSTP 综合信息传输等项目及产品的研发工作,在光收发模块、SDH 产品方面有较丰富的研发经验。



文献[3]通过双金属片的热形变,利用 AWG 芯片的弹光效应来补偿波长随温度变化的漂移,在 25 °C~70 °C 温度范围内能够实现波长漂移小于 50 pm。文献[4,5]是利用 AWG 在输出波导边的色散特性,通过金属随温度热胀冷缩的特性使输入波导发生位移来补偿波长漂移,在 0 °C~70 °C 范围内波长漂移小于 ±0.01 nm;该方案要求金属板长度较长,在 AWG 芯片日趋小型化的时代,补偿结构的尺寸也必须尽量小。

针对补偿结构尺寸与 AWG 芯片尺寸不相适应的情况,本文提出一种新的基于双金属片和金属板的无热 AWG 温度补偿方案。

1 温度补偿理论模型

1.1 位移型无热补偿

位移型无热 AWG 结构示意图如图 1 所示。在平板波导处进行切割将 AWG 芯片分为两部分:一部分固定;另一部分通过金属板的热胀冷缩进行移动来补偿波长的温度漂移^[4]。

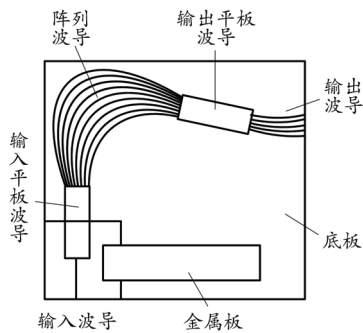


图 1 位移型无热 AWG 结构

当温度变化时,输入波导位置变化量与中心波长漂移量 λ 的关系为^[5,6]:

$$\frac{dx_i}{dT} = -\frac{L_t m}{n_s l} \frac{n_s}{n_c} \frac{d\lambda}{dT} \quad (1)$$

其中, n_s 、 n_c 分别为平板波导和阵列波导的有效折射率, l 为阵列波导的间距, L_t 为平板波导的长度, x_i 是输入波导与中心输入波导的间距, m 为 AWG 的衍射级数。群折射率 $n_g = n_c \lambda_0 - \lambda_0 \frac{dn_c(\lambda)}{d\lambda}$, 其中 λ_0 为 AWG 中心波长。因为材料色散对波长漂移影响较小,可以忽略不计,则式(1)可以表示为:

$$\frac{n_s d}{L_t m} \frac{dx_i}{dT} + \frac{d\lambda}{dT} = 0 \quad (2)$$

其中,左边第一项为补偿量,第二项为 AWG 芯片本身中心波长漂移量,且有:

$$\frac{dx_i}{dT} = -\alpha_{Al} \cdot L_{Al} \quad (3)$$

其中, α_{Al} 为金属板线膨胀系数, L_{Al} 为金属板长度,将其代入式(3)得:

$$-\frac{n_s d}{L_t m} \alpha_{Al} \cdot L_{Al} + \frac{d\lambda}{dT} = 0 \quad (4)$$

1.2 应力型无热补偿

应力型无热 AWG 结构示意图如图 2 所示。将双金属片粘在阵列波导区底部,利用双金属片随温度变化的形变影响 AWG 芯片内部的应力分布来补偿其波长漂移量。其关系式可表示为:

$$\left(\frac{\lambda_0}{n_c} A + \lambda_0 B \right) \frac{d\varepsilon}{dT} + \frac{d\lambda}{dT} = 0 \quad (5)$$

其中,左边第一项为补偿量,第二项为 AWG 芯片本身中心波长漂移量。 A 是波导的弹光系数,只与波导材料有关, B 是与 AWG 形状有关的结构参数,是描述阵列波导的膨胀与 ΔL 变化的关系, ε 为弯曲双金属片对波导的应力,其应力可分为 x 方向和 y 方向,这里假设 y 方向的应力为 0,即 $\varepsilon_y = 0$,则:

$$\varepsilon_x = \frac{t_s}{2R} = \frac{t_s K \Delta T}{t_b (1 + \mu)} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{E_s \omega_s t_s^3}{E_b \omega_b t_b^3} \quad (7)$$

其中, R 为 AWG 芯片的弯曲半径, K 为双金属片的弯曲系数, t_s 、 w_s 、 E_s 分别为双金属片(下标 b)和 AWG 芯片(下标 s)的厚度、宽度和杨氏模量。

将式(7)代入式(6),并结合式(9)可得:

$$\left(\frac{\lambda_0}{n_c} A + \lambda_0 B \right) \frac{K}{t_b/t_s + E_s w_s t_s^2 / (E_b w_b t_b^2)} + \frac{d\lambda}{dT} = 0 \quad (8)$$

1.3 新型无热补偿

本文基于以上 2 种方案提出的新型补偿结构是将双金属片粘在 AWG 芯片阵列波导区底部,利用双金属片的形变特性和金属板的热胀冷缩变化同时对 AWG 芯片进行补偿,其结构示意图如图 3 所示。

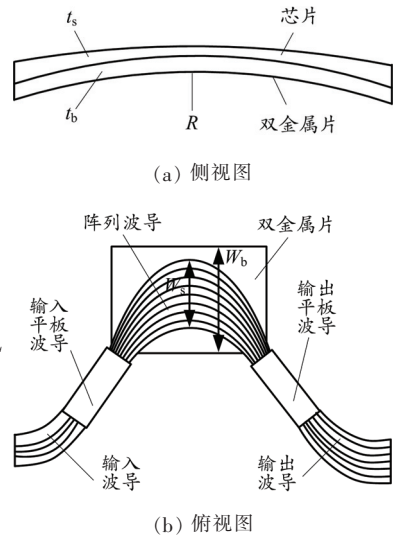


图 2 应力型无热 AWG 结构

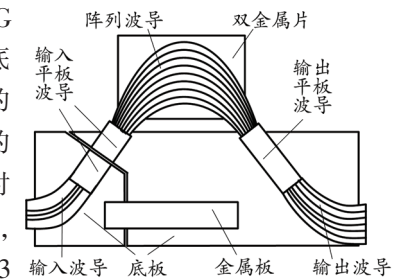


图 3 新型无热补偿结构

结合这 2 种方案的补偿原理进行分析,经过双金属片补偿的 AWG 芯片中心波长漂移量 λ_1 为:

$$\frac{d\lambda_1}{dT} = \left(\frac{\lambda_0}{n_c} A + \lambda_0 B \right) + \frac{d\lambda}{dT} \quad (9)$$

根据式(8),令金属板的补偿量与经过双金属片补偿的中心波长漂移量的和为零,即有:

$$-\frac{n_s d}{L_m} \alpha_{Al} \cdot L_{Al} + \frac{d\lambda_1}{dT} = 0 \quad (10)$$

将式(13)代入式(14)得:

$$-\frac{n_s d}{L_m} \alpha_{Al} \cdot L_{Al} + \left(\frac{\lambda_0}{n_c} A + \lambda_0 B \right) \times \frac{K}{t_b/t_s + E_s w_s t_s^2 / (E_b w_b t_b^2)} + \frac{d\lambda}{dT} = 0 \quad (11)$$

其中,左边第一、二项为补偿量,第三项为 AWG 芯片本身的波长漂移量,三项的和为零,即理论上通过双金属片和金属板共同补偿的作用能使中心波长漂移为零。

2 理论仿真与分析

本文的仿真参数引用文献[3,5],具体数值如表 1 所示。将表 1 中参数代入式(1)且 25 °C 时折射率随温度的变化量 $\frac{dn_c}{dT} = 9.3 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 计算得中心波长漂移量为:

$$\frac{d\lambda}{dT} = 14.6 \text{ pm}/^\circ\text{C} \quad (12)$$

本文中金属板采用纯铝材质,取 25 °C 下的热膨胀系数 α_{Al} 为 $2.23 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ [5]。双金属片的杨氏模量和弯曲系数皆只与材料有关,而与尺寸无关,本文选用 5J1380 型号的双金属片,其弯曲系数 K 为 $1.38 \times 10^{-5}/\text{K}$,杨氏模量 E_b 为 147 GPa,此数据来源于上海鑫稀合金有限公司[8]。

由表 1 的参数及式(11)、式(12)

表 1 AWG 芯片参数

参数名称	参数/单位	参数值
中心波长 ^[3]	λ_0/nm	1554.1
平板波导长度 ^[5]	L_d/mm	17.2
平板波导折射率 ^[5]	n_c	1.4537
阵列波导长度差 ^[3]	$\Delta L/\mu\text{m}$	63.1
衍射级数 ^[3]	m	59
阵列波导间隔 ^[5]	$d/\mu\text{m}$	13.8
硅基的线膨胀系数 ^[5]	$\alpha_s/^\circ\text{C}^{-1}$	3×10^{-6}
芯片厚度 ^[3]	t/mm	0.5
芯片宽度 ^[3]	w/mm	6
硅的杨氏模量 ^[3]	E/GPa	190
波导弹光系数 ^[3]	A	-0.4
芯片的结构参数 ^[3]	B	-0.6

计算可得双金属片厚度 t_b 、宽度 w_b 以及金属板长度 L_{Al} 之间的关系为:

$$0.033 - \frac{0.0213}{t_b + 0.969 / (w_b t_b)^2} - L_{Al} = 0 \quad (13)$$

2.1 双金属片厚度与金属板长度的关系

根据 AWG 芯片的大小,取双金属片的宽度 $w_b = 10 \text{ mm}$ 时,双金属片的厚度和金属板长度关系为:

$$L_{Al} = 0.033 - \frac{0.0213}{t_b + 0.0969 / t_b^2} \quad (14)$$

据式(14)可画出曲线图如图 4 所示,可以看出,当 w_b 一定时, t_b 与 L_{Al} 存在一个最佳关系,即当 $t_b = 0.578 \text{ mm}$ 时, $L_{Al} = 8.47 \text{ mm}$ 。当没有双金属片时,根据式(4)计算得 L_{Al} 约为 33 mm,表明新方案的补偿结构能使金属板的长度减小为位移无热补偿型的 1/4。

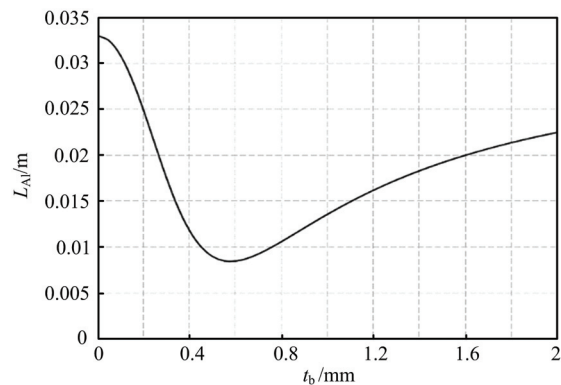


图 4 双金属片厚度 t_b 与金属板长度 L_{Al} 的关系

2.2 双金属片宽度与金属板长度的关系

当取双金属片的厚度 $t_b = 0.5 \text{ mm}$ 时,可得双金属片的宽度 w_b 与金属板的长度 L_{Al} 关系为:

$$L_{Al} = 0.033 - \frac{0.0426}{1 + \frac{7.75}{w_b}} \quad (15)$$

根据式(15)画出曲线图如图 5 所示,当 t_b 一定时, w_b 越大, L_{Al} 越小。

2.3 双金属片厚度与宽度的关系

当取金属板长度 $L_{Al} = 8 \text{ mm}$ 时,则双金属片的厚度 t_b 与宽度 w_b 的关系为:

$$w_b = \frac{0.969}{t_b^2 (0.85 - t_b)} \quad (16)$$

根据式(20)画出曲线图如图 6 所示,当 L_{Al} 一定时, t_b 与 w_b 存在一个最佳关系,即当 $t_b = 0.565 \text{ mm}$ 时, $w_b = 10.655 \text{ mm}$ 。

综上所述,关于双金属片厚度、宽度和金属板长度的选定,可以根据实际情况选取其中一个量为定

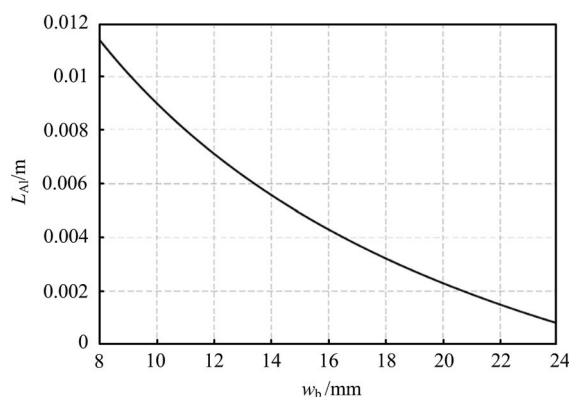
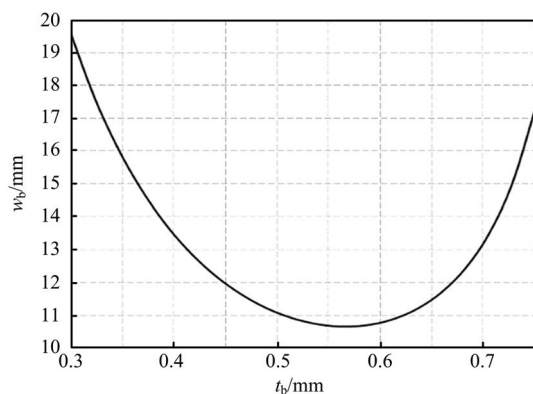
图5 双金属片宽度 w_b 与金属板长度 L_A 的关系

图6 双金属片厚度与宽度的关系

值,再由确定的曲线关系选择最优化的参数作为结构的设计参数。由此看出,本文设计的新方案还增加了设计的灵活性,在工艺上有较大应用。

3 结束语

本文提出了一种无热 AWG 温度补偿新方案,通

过结合应力对波导的作用和改变输入波导位置这 2 种补偿模式,在理论上实现了对波长的一阶漂移近乎完全的补偿。当双金属片的宽度约为 10 mm,厚度约为 0.6 mm 时,金属板的长度约为 8 mm,比无双金属片时金属板的长度小约 25 mm,这大大降低了补偿结构的尺寸,使其能更好地与小尺寸的芯片结合实现器件的小型化封装。在实际应用中,新方案多参数可调的特性使参数设计更加灵活。

参考文献:

- [1] 符建. 一种具有无源温度补偿的反射型阵列波导光栅的研究 [J]. 光电子激光, 2004(15): 48-51.
- [2] UENURNA M, MOTOOKA T. Design of a temperature independent arrayed waveguide grating on SOI substrates [C]// IEEE International Conference on Group IV Photonics, Sept. 19-21, 2007, Tokyo, Japan. Tokyo: IEEE, 2007: 1-3.
- [3] Ooba N. Athermal silica-based arrayed-waveguide grating multiplexer using bimetal plate temperature compensator [J]. Electronics Letters, 2000, 36(21): 1800-1801.
- [4] Saitode T, Nara K, Nekado Y, et al. 100 GHz-32 ch thermal AWG with extremely low temperature dependency of center wavelength [C]// Optical Fiber Communications Conference, March 28-28, 2003, Georgia, USA. Atlanta: IEEE, 2003: 57-59.
- [5] Hasegawa J, Nara K. Ultra-wide temperature range (-30°C~70°C) operation of athermal AWG module using pure aluminum plate [C]// Optical Fiber Communication Conference and the National Fiber Optic Engineers Conference, Mar. 5-10, 2006, California, USA. Anaheim: IEEE, 2006: 3-3.
- [6] 戴道铎. 阵列波导光栅的理论建模与优化设计及其实验研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [7] 张国伟. 聚合物阵列波导光栅波分复用器的研制 [D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2005.
- [8] 上海鑫稀. 热双金属带 [EB/OL]. (2018-10-22) [2019-11-1]. <https://www.xxalloy.com/productinfo/433112.html>.

审稿专家邀请函

尊敬的各位专家学者:

您好!

《光通信技术》是中国电子科技集团公司主管、中国电子科技集团公司第三十四研究所主办的学术刊物, 1977 年创刊。为进一步提高办刊质量, 完善和丰富现有审稿专家库, 提高审稿质量和效率, 现诚邀国内外光通信领域的优秀专家参与我刊的审稿工作, 相信您的加入将极大地促进我刊的发展。

我刊的审稿专家遴选条件如下: ①具有正高级职称。②精通或擅长光通信技术某一方面或多方面的发展前沿与动态, 能对论文给出精准的审读意见。③热爱审稿工作, 能按时完成审稿并对所审稿件严格保密。

本刊现采用两种审稿方式(在线审稿系统、邮件审稿), 每月结算一次审稿报酬(通过银行转账方式)。如有意成为《光通信技术》审稿专家者, 请登录本刊网站下载、填写“审稿专家登记表”, 以电子邮件附件形式返回至 E-mail: OPTICAL263@163.com, 经编辑部研究讨论通过后, 将正式成为本刊的审稿专家。

衷心感谢各位专家学者长期以来对《光通信技术》工作的关心和支持。

《光通信技术》编辑部